Conservación
http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/cal
https://dx.doi.org/10. 15446/caldasia.v40n2.67578
Caldasia 40(2):321-334. Julio-diciembre 2018

Mortalidad de reptiles en carreteras del piedemonte de los llanos orientales colombianos

Reptile mortality on roads in the colombian eastern llanos foothill

Jorge Anthony Astwood-R[1]*, Mayra Cristina Reyes-D[2], Mónica Tatiana Rincón-A[2], Jorge Pachón-G[2], Pedro Rene Eslava-M[3], Carlos Alberto Parra-S[4]

[1]Grupo de Estudio BioHerp. Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías, Programa de Biología, Universidad de los Llanos, km 12 vía Puerto López, vereda Barcelona, Villavicencio, Colombia. jastwood@unillanos.edu.co

[2] Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías, Programa de Biología, Universidad de los Llanos, km 12 vía Puerto López, vereda Barcelona, Villavicencio, Colombia. mayra.reyes@unillanos.edu.co, tamandua86@gmail.com, jpachon@unillanos.edu.co

[3]Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Instituto de Acuicultura de los Llanos, Universidad de los Llanos, km 12 vía Puerto López, vereda Barcelona, Villavicencio, Colombia. pedro.eslava@unillanos.edu.co

[4]Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial la Macarena CORMACARENA, Carrera 35 # 25–57 Barrio San Benito, Villavicencio, Colombia. carlos.parra@cormacarena.gov.co

**Autor para correspondencia.*

RESUMEN

Las colisiones de vehículos con reptiles son una de las causas más importantes de pérdida de biodiversidad originadas por la construcción y funcionamiento de infraestructura vial. El objetivo del estudio fue analizar la mortalidad de reptiles en carreteras del piedemonte de los llanos orientales colombianos. Se analizaron eventos de colisión estableciendo puntos críticos, tasas de atropellamiento y su relación con el tipo de cobertura. Se realizaron recorridos entre abril y septiembre de 2015 en tres tramos de dos carreteras nacionales del departamento del Meta. Se utilizó un vehículo a velocidad media de 40 km/h y se registraron eventos de colisiones de automóviles con reptiles, documentando ubicación, identificación y cobertura asociada. Se utilizaron estimadores y pruebas de similitud para diversidad de especies. Se identificaron puntos críticos y tasas de colisión mediante mapas de calor e índices kilométricos de atropellamiento. Se registraron 204 eventos de colisión para 33 especies de reptiles con tasas de colisión entre 0,019 y 0,042 colisiones/km/día y se identificaron 30 puntos críticos de atropellamiento. Las tasas de colisión calculadas presentan una relación inversa con el tipo de cobertura ya que la presencia de bosques, matorrales y humedales está relacionada con menor cantidad de colisiones. Estos hallazgos representan una herramienta importante para implementar estrategias de prevención y mitigación de atropellamientos de fauna en la Orinoquia colombiana.

Palabras clave. Atropellamientos, Llanos Orientales, Reptilia, vías.

ABSTRACT

Collisions of vehicles with wild reptiles are one of the most important causes of biodiversity loss, caused by the construction and operation of road infrastructure. The study objective was to analyze reptile mortality on roads in the colombian eastern llanos foothill. Collision events were analyzed in this study, establishing critical points, collision rates and their relationship with the vegetation coverage around the roads. Field travels were conducted between April and September (2015) in three sections of two national roads in the department of Meta (Colombia). A vehicle was used to follow the roads at an average speed of 40 km/h and car collision events with reptiles, its location, animal identification and associated vegetation coverage were recorded. Estimators and similarity tests were used for species diversity.

Critical points and collision rates were identified by heat maps and kilometer rates of road traffic. In total, 204 collision events were recorded for 33 reptile species with collision rates between 0.019 and 0.042 collisions/km/day, and 30 critical points of road collision were identified. The calculated collision rates have an inverse relationship with the type of coverage since the presence of forests, bushes and wetlands are related to fewer collisions. These findings represent an important tool to implement strategies for the prevention and mitigation of wildlife - vehicles collision events in the Colombian Orinoquia.

Key words. Collisions, Eastern Plains, Reptilia, roads.

INTRODUCCIÓN

La construcción de carreteras y redes viales en los paisajes naturales genera disrupciones importantes sobre los ciclos biogeoquímicos que mantienen el equilibrio de las condiciones ambientales tanto para los seres humanos como para todos los elementos que conforman la biodiversidad (Coffin 2007). Los efectos de estas disrupciones se manifiestan inicialmente en la transformación, fragmentación y pérdida de los ecosistemas y posteriormente en infinidad de fenómenos dentro de los cuales aparecen las colisiones de distintas especies de fauna silvestre con automotores, fenómeno que ha generado el interés y la preocupación de la academia, las autoridades ambientales y algunos sectores de la comunidad en Colombia, principalmente a partir de la segunda década del siglo XXI (Vargas-Salinas *et al.* 2011, Quintero-Ángel *et al.* 2012, De La Ossa-V y Galván-Guevara 2015). Una gran proporción de estos eventos de colisión o atropellamiento sucede con especies de la clase Reptilia. Babillas, lagartos, serpientes, anfisbaenas y tortugas que habitan en las áreas adyacentes a las redes viales, se mueven constantemente supliendo sus necesidades de alimento, refugio y reproducción, entre otras, necesidades generalmente influenciadas por la dinámica estacional particular de cada territorio y acentuadas por una desbordante cantidad de vehículos que circulan por el asfalto a alta velocidad (Forman *et al.* 2003, Clevenger *et al.* 2001, van der Ree *et al.* 2015). El presente trabajo analiza los resultados de eventos de colisión de reptiles y automotores en vías nacionales del departamento del Meta, Colombia, establece puntos críticos, determina tasas de atropellamiento y las relaciona estadísticamente con el tipo de cobertura circundante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en tres tramos de dos carreteras nacionales del departamento del Meta, Colombia. El primer tramo midió 79,4 km de la ruta nacional I-40 entre Villavicencio y el municipio de Puerto López, Meta. El segundo tramo midió 27,9 km de la ruta nacional I-65 entre Villavicencio y el cruce de la Veracruz en la vereda Chepero, municipio de Cumaral, Meta. El tercer tramo, que midió 75,5 km, también ubicado sobre la ruta nacional I-65 y conduce del municipio de Villavicencio hacia el municipio de Granada, Meta. Tanto I-40 como I-65 son rutas de calzada sencilla que presentan en promedio 10 metros de ancho en la corona vial (Fig. 1) (INVIAS c2016). La ruta I-40 se extiende inicialmente por sabanas de piedemonte de la vertiente oriental de la Cordillera Oriental. Atraviesa una matriz predominantemente agropecuaria, acompañada por formaciones de bosques, humedales y sabanas naturales. El área de influencia presenta un intervalo de altitud entre los 120 y 500 metros, la temperatura media es de 28 °C, la humedad relativa oscila entre 40 y 98 % a lo largo de un periodo climático monomodal con un régimen de precipitación de hasta 3500 mm por año (Espinal 1990, IDEAM c2017). La ruta I-65 se extiende a lo largo del paisaje de piedemonte de la vertiente oriental

de la Cordillera Oriental. Atraviesa una matriz predominantemente agropecuaria, acompañada por formaciones de bosques, humedales y sabanas naturales. El área de influencia del presente estudio, (tramos 02 y 03), presenta un intervalo de altitud entre los 160 y 500 metros, la temperatura media es de 26 °C, la humedad relativa oscila entre 47 y 98 % a lo largo de un periodo climático monomodal con régimen de precipitación de hasta 4600 milímetros por año (Espinal 1990, IDEAM c2017).

Fase de campo

Se realizaron recorridos de ida entre las 07:00 y 11:00 horas y de regreso entre las 15:00 y 19:00 horas entre abril y septiembre de 2015. Estos recorridos se hicieron de forma independiente y en días diferentes para cada tramo así: a. en el Tramo 1 se hicieron 18 recorridos, uno en abril, dos en mayo, tres en junio, uno en julio y once en agosto; b. en el Tramo 2 se hicieron 17 recorridos, uno en abril, dos en mayo, seis en junio, uno en julio, seis en agosto y uno en septiembre; c en el Tramo 3 se hicieron 18 recorridos, dos en abril, uno en mayo, seis en junio, dos en julio y siete en agosto. Se usó un vehículo con dos observadores a una velocidad entre 20 – 40 km/h tal como sugieren Collinson *et al.* (2014). Para cada espécimen detectado se asignó un numero único y se diligenció una ficha de campo donde se registraron datos de ubicación y se describió el tipo de coberturas Corine Land Cover (IDEAM c2010) en el entorno de cada evento. Para facilitar el registro de coberturas Corine Land Cover, estas se clasificaron así: a. Antrópicas, compuestas por pastos limpios, arroz, mosaico de pastos y cultivos, pastos arbolados, palma de aceite, zonas quemadas, aeropuertos, tejido urbano continuo y tejido urbano discontinuo; b. Naturales caracterizadas por bosque de galería

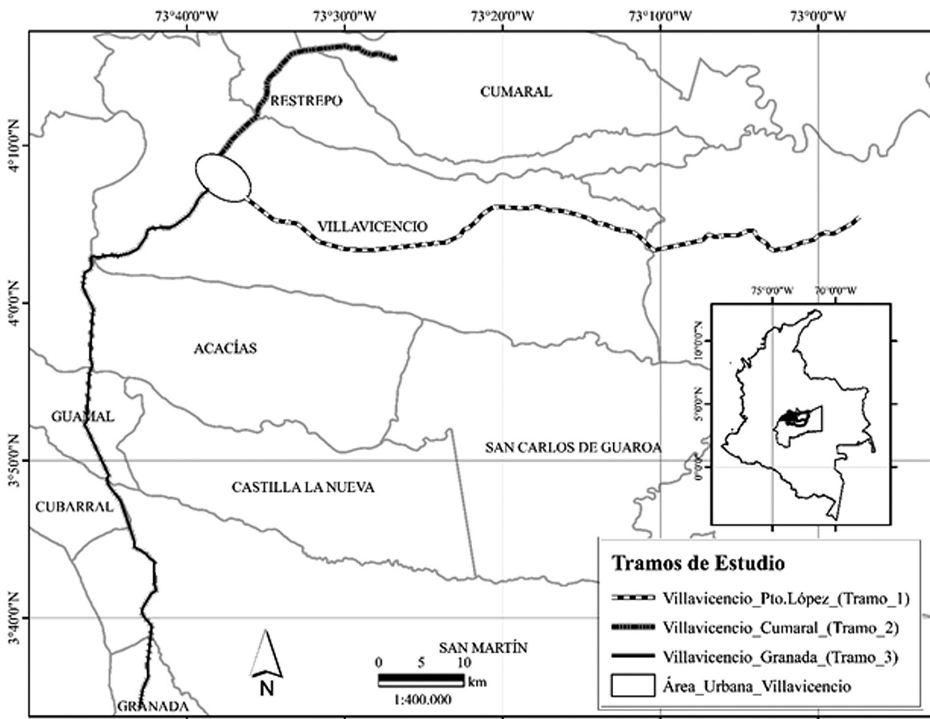


Figura 1. Mapa del área de estudio, municipios, carreteras y tramos.

y ripario, bosque denso alto de tierra firme, herbazal denso inundable, arbustal denso, ríos y zonas pantanosas y c. Mixtas donde ocurren mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, mosaico de pastos con espacios naturales, mosaico de pastos y cultivos, pastos enmalezados, bosque fragmentado, bosque fragmentado con vegetación secundaria y vegetación secundaria o en transición. De cada espécimen se tomaron datos de longitud total, coloración, otros caracteres diagnósticos, registro fotográfico de alta calidad y se hizo identificación preliminar en campo. Los ejemplares no fueron recolectados por encontrarse muy destruidos o descompuestos:

Identificación taxonómica

La identificación de especies se llevó a cabo a partir de las mediciones, descripciones e imágenes tomadas en campo y se utilizaron las claves especializadas de Ángel (1957), Peters y Donoso-Barros (1970), Peters y Orejas-Miranda (1970), Pérez-S. y Moreno (1988), Ávila-P. (1995), Rueda-Almonacid *et al.* (2007) y confirmación con especialistas.

Muestreo y similitud

Para determinar la representatividad del muestreo se realizó una curva de acumulación de especies usando el estimador Jack 1 debido a que las muestras no son homogéneas en composición y varias especies aparecen solo en un tramo. Para establecer diferencias ($P < 0,05$) en la composición de especies entre tramos se realizó una prueba de ANOSIM con corrección de Bonferroni basada en el índice de Bray-Curtis (Noah c2003). Estas pruebas fueron realizadas con los paquetes EstimateS 8,2 y Past 3.0 (Magurran 1988, 2004, Colwell c2009).

Coberturas, mortalidad y puntos críticos

Para analizar los eventos de colisión se utilizaron los datos de abundancia absoluta para generar un mapa de calor que muestra las zonas que presentaron la mayor cantidad de eventos sobre una capa "*buffer*" de 500 m del Mapa de Cobertura de la Tierra (IGAC c2008, c2011, IDEAM c2010). Se calcularon dos índices kilométricos expresados en tasa de mortalidad por día y tasa de mortalidad por día por kilómetro, de acuerdo con la metodología propuesta por Santos *et al.* (2011) y Teixeira *et al.* (2013). La tasa de mortalidad por día generada por el software libre SIRIEMA – Road Mortality Software V. 2.0 (Coelho *et al.* 2014), utiliza el siguiente modelo:

$$N = \sum_{i-0}^{n-1} N_i = \lambda T_R p \sum_{i-0}^{n-1} \left(1 - \sum_{j-1}^{i} e^{\frac{jT_s}{T_R}} p (1-p)^{j-1} \right)$$

Donde **N** es el número total de cadáveres registrados durante el estudio; λ es el número de cadáveres por día; ***p*** la capacidad de detección, que se calculó mediante experimento recomendado por Coelho *et al.* (2014); $\mathbf{T_R}$ el tiempo en días que transcurre desde el momento de la colisión hasta la desaparición total del cadáver, este dato fue calculado mediante una aplicación de SIRIEMA – Road Mortality Software V. 2.0 (Coelho *et al.* 2014); $\mathbf{T_S}$ que es el intervalo de muestreo o número de días entre un recorrido y otro en el que se usó la mediana para cada tramo así: dos días para el Tramo 1, cinco días para el Tramo 2 y cuatro días para el Tramo 3; ***i*** que es un punto dado en la vía y ***j*** que es cada evento de atropellamiento. Para la identificación de puntos críticos se utilizó el método de evaluación a escala, basado en radios de circunferencias para localizar las colisiones en las carreteras. Cada tramo estudiado fue dividido en fragmentos de igual longitud así: Tramo 1, 794 fragmentos de 100 m y 397 circunferencias con 200 m de radio. Tramo 2, 279 fragmentos de 100 m y 139 circunferencias de 200 m de radio. Tramo 3, 755 fragmentos de 100 m y 377 circunferencias de 200 m de radio. Los puntos críticos se definieron de acuerdo con

el análisis de distribución espacial K Ripley con un nivel de confianza de 95 % mediante el software libre SIRIEMA – Road Mortality Software V. 2.0 (Coelho *et al.* 2014). Para establecer si existían diferencias en la cantidad de eventos de colisión, de acuerdo con la clasificación de coberturas propuesta anteriormente, se realizó una prueba W de Mann-Whitney para comparar las medianas del número de eventos de colisión por parejas de coberturas así: antrópicas vs mixtas, antrópicas vs naturales, con nivel de confianza de 95 %.

RESULTADOS

Se recorrieron 6580 km en los tres tramos. Se registraron 204 eventos de atropellamiento, 122 en el Tramo 1, 19 en el Tramo 2 y 63 en el Tramo 3. Se hallaron 33 especies pertenecientes a 28 géneros, once familias, tres subórdenes y tres órdenes de la clase Reptilia. Los géneros y especies más afectadas por colisiones fueron en su orden *Chironius* sp, *Caiman crocodilus* (Linnaeus, 1758), *Iguana iguana* (Linnaeus, 1758), *Leptodeira* sp, *Oxyrhophus* sp, *Atractus* sp, *Epicrates* sp, *Erythrolampus* sp, *Mesoclemmys* sp, *Bothrops atrox* (Linnaeus, 1758), *Tupinambis* sp, *Amphisbaena alba* Linnaeus, 1758, *Amphisbaena fuliginosa* (Linnaeus, 1758), *Corallus* sp, *Lygophis* cf. *lineatus* y *Pseudoboa* sp. Las serpientes son el grupo que presenta mayor cantidad de especies e individuos afectados por colisiones en los tres tramos, mientras que lagartos y tortugas se observan menos individuos afectados. Las babillas presentan un alto número de individuos, particularmente en el Tramo 1 (Fig. 2, Tabla 1). Se registró el 83,3 % de las especies esperadas por el estimador Jack 1 (Fig. 3). La prueba de similitud mostró que no existen diferencias ($P \geq 0{,}05$, R = -0,070) en la composición de especies entre tramos.

La estimación de las tasas de mortalidad muestra que las colisiones tanto por día como por día por kilómetro arrojó los mayores valores en el Tramo 1. Asimismo, los valores de atropellamiento del Tramo 3, representan la mitad del valor obtenido en el tramo 1 y las tasas más bajas se observaron en el Tramo 2. El Tramo 01 (Fig. 4) muestra trece puntos críticos de los cuales el cuarto, séptimo, noveno, decimoprimero y decimosegundo presentan la mayor incidencia de colisiones. El Tramo 02 (Fig. 5) muestra cinco puntos críticos de los cuales el primero, el segundo y el tercero presentan la mayor incidencia de colisiones. El Tramo 03

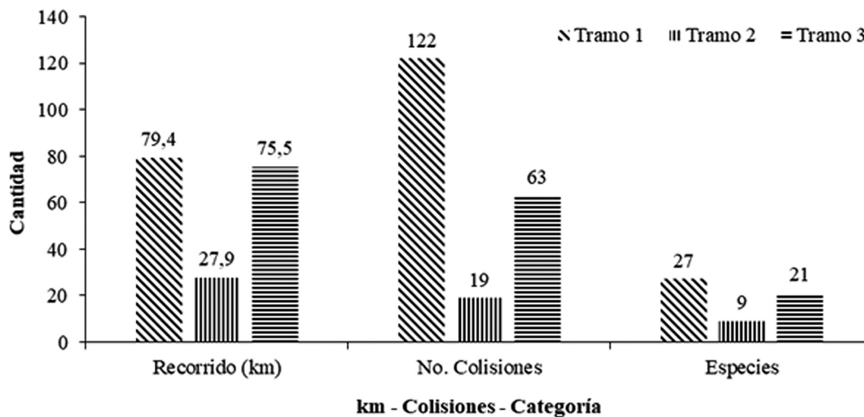


Figura 2. Distancias recorridas, eventos de colisión y cantidad de especies registradas por tramo.

Tabla 1. Diversidad de especies y abundancia de eventos de colisión por tramo.

Orden/Suborden	Familia	Especie	T 1	T2	T3
Sauria	Teiidae	*Ameiva ameiva* (Linnaeus, 1758)	1	0	0
Serpentes	Typhlopidae	*Amerotyphlops reticulatus* (Linnaeus, 1758)	1	0	0
Amphisbaenia	Amphisbaenidae	*Amphisbaena alba* Linnaeus, 1758	3	0	2
Amphisbaenia	Amphisbaenidae	*Amphisbaena fuliginosa* (Linnaeus, 1758)	5	0	0
Serpentes	Colubridae	*Atractus* sp.	0	2	7
Serpentes	Colubridae	*Atractus univittatus* (Jan, 1862)	1	0	0
Serpentes	Boidae	*Boa constrictor* Linnaeus, 1758	1	0	1
Serpentes	Viperidae	*Bothrops atrox* (Linnaeus, 1758)	4	0	2
Crocodylia	Crocodylidae	*Caiman crocodilus* (Linnaeus, 1758)	29	0	1
Serpentes	Colubridae	*Chironius* sp.	17	5	16
Serpentes	Colubridae	*Clelia clelia* (Daudin, 1803)	0	0	1
Sauria	Teiidae	*Cnemidophorus* sp.	1	0	1
Serpentes	Boidae	*Corallus* sp.	3	0	1
Serpentes	Boidae	*Epicrates* sp.	8	0	1
Serpentes	Colubridae	*Erythrolamprus bizonus* Jan, 1863	0	1	0
Serpentes	Colubridae	*Erythrolamprus* sp.	4	0	3
Serpentes	Boidae	*Eunectes murinus* (Linnaeus, 1758)	3	0	0
Serpentes	Colubridae	*Helicops* sp.	2	1	0
Sauria	Iguanidae	*Iguana iguana* (Linnaeus, 1758)	6	3	4
Serpentes	Colubridae	*Leptodeira* sp.	9	0	1
Serpentes	Colubridae	*Lygophis* cf. *lineatus*	3	1	0
Serpentes	Colubridae	*Mastigodryas bifossatus* (Raddi, 1820)	1	1	0
Testudines	Chelidae	*Mesoclemmys* sp.	2	4	1
Serpentes	Elapidae	*Micrurus* sp.	0	0	1
Serpentes	Colubridae	*Oxyrhopus* sp.	0	0	10
Crocodylia	Crocodylidae	*Paleosuchus* sp.	1	0	1
Testudines	Podocnemididae	*Podocnemis* sp.	1	0	0
Testudines	Podocnemididae	*Podocnemis vogli* Müller, 1935	1	0	0
Serpentes	Colubridae	*Pseudoboa coronata* Schneider, 1801	2	0	1
Serpentes	Colubridae	*Pseudoboa* sp.	3	0	1
Serpentes	indet.	Serpentes sp.	6	0	5
Serpentes	Colubridae	*Tantilla melanocephala* (Linnaeus, 1758)	0	1	0
Sauria	Teiidae	*Tupinambis* sp.	4	0	2

(Fig. 6) muestra doce puntos críticos de los cuales, el sexto, octavo, décimo y decimotercero presentan la mayor incidencia de colisiones. Los mapas de calor o densidad realizados con los datos de abundancia absoluta para cada tramo, muestran tonos de gris más oscuro que corresponden con los puntos críticos descritos en los gráficos de simulación N Eventos N Simulaciones K Ripley y a su vez, con los tipos de coberturas que presentaron diferencias ($P < 0,05$) en el número de colisiones ya que la mayoría de puntos críticos se ubican sobre coberturas antrópicas para los tres tramos (Figs. 4 - 6).

DISCUSIÓN

Trujillo-P *et al.* (2014) reportan que la diversidad de reptiles para la ecorregión del piedemonte de la Orinoquia está compuesta por 98 especies, 65 géneros, 25 familias y tres órdenes. En el presente estudio se halló alrededor del 34 % de las especies, 43 % de los géneros, 44 % de las familias y 100 % de los órdenes en los tres tramos sin diferencias en la composición de especies por tramo. Asimismo, 55 % de las especies y 100 % de los géneros, familias, subórdenes y ordenes se comparten con los reportados por Seijas *et al.* (2013) como afectados por atropellamiento en una carretera de la Orinoquia venezolana. Los resultados de saturación obtenidos mediante la curva, sugieren que la cantidad de especies registradas es proporcional a la porción del piedemonte que incluyó el área de estudio (Fig. 3). Esto implica que al menos una de cada tres especies de reptiles del piedemonte, presenta eventos de colisiones con automóviles en el departamento del Meta, lo que representa una amenaza manifiesta de conservación para los reptiles tal como Lynch (2012) y Jochimsen *et al.* (2014) comentan en sus estudios.

Forman-T *et al.* (2003), Huijser *et al.* (2008) y van der Ree *et al.* (2015) sugieren que la mortalidad de fauna silvestre por colisiones en carreteras depende de dos aspectos principales. El primero incluye el tráfico, tipo de carretera y tipo de paisaje dominante. El segundo aspecto se relaciona con la ecología y el comportamiento de las especies. Las estadísticas de tráfico de Autollanos (c2014), concesionario de los tramos estudiados, muestran que el Tráfico Promedio Día (TDP) para la ruta I40 en el Tramo 01 fue de 4138 automotores, para la ruta I65 en el

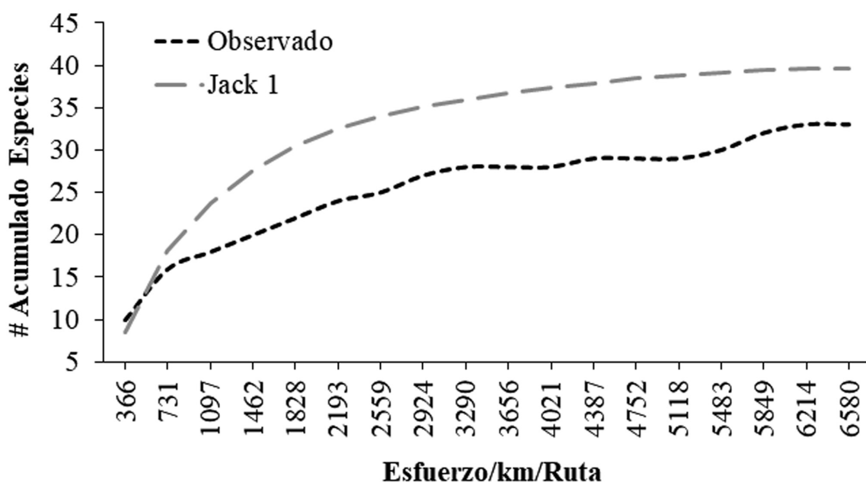


Figura 3. Curva de acumulación de especies afectadas por atropellamiento.

Tramo 02 el TDP fue de 8529 automotores y para el Tramo 03 en la misma ruta, el TDP fue de 2938 automotores. Lo que implica entre 122,4 y 355,4 automotores por hora en los tramos estudiados. Además, SIMIT (2015), reporta más de 16541 comparendos de tránsito en vías nacionales del Meta en el año 2015, de los cuales 16168 fueron por exceder el límite de velocidad de 80 km/h para carretera en Colombia. Sin duda, tanto los volúmenes elevados de tráfico como el exceso de velocidad influencian el número de colisiones de automóviles con la fauna silvestre. Forman *et al*. (2003) y Huijser *et al.* (2008) explican que cuando los vehículos viajan a velocidades mayores a los 64 km/h, la probabilidad de colisión es significativamente mayor para algunas especies de fauna, particularmente para aquellas que se movilizan lentamente como tortugas y lagartos. Por su parte, Inbar y Mayer (1999) y Joyce y Mahoney (2001) hallaron que la tasa de mortalidad de armadillos y alces por colisiones con vehículos está altamente relacionada con el volumen de tráfico en las vías.

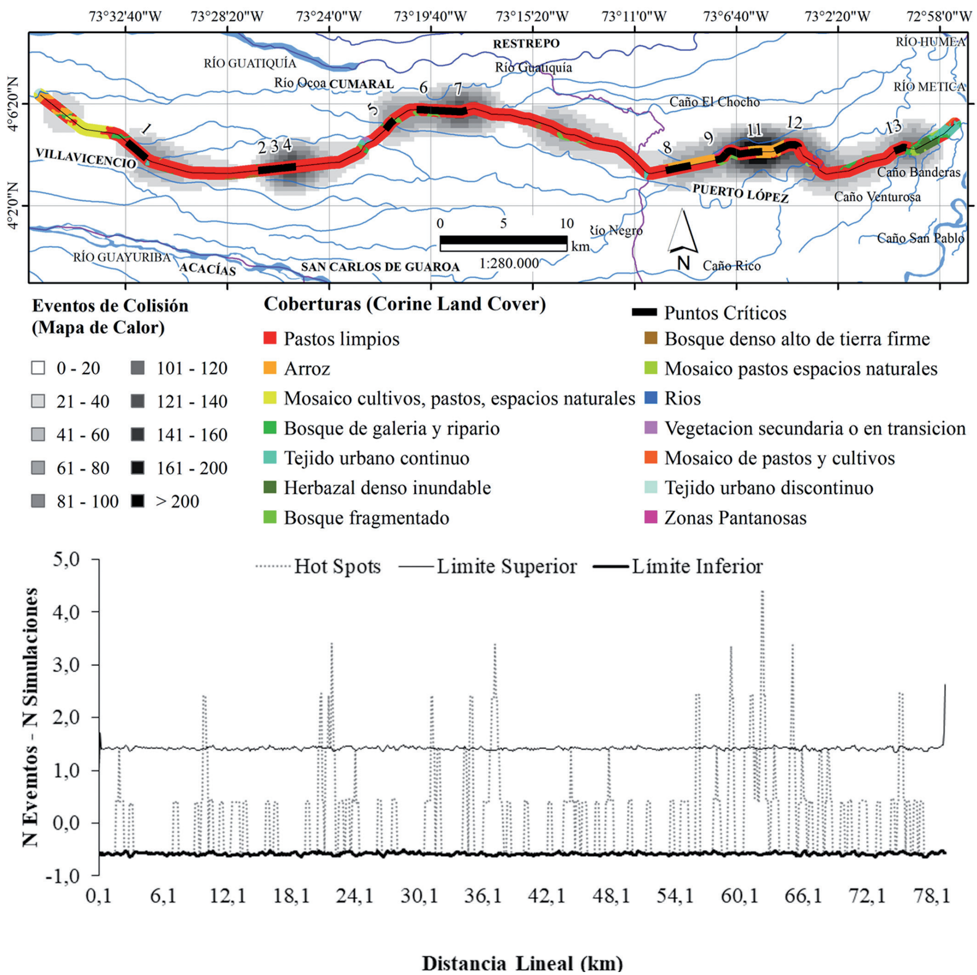


Figura 4. Mapa de calor con coberturas con puntos críticos de colisión en el Tramo 1 señalados con números (arriba) y gráfico de simulación K-Ripley de identificación de estos puntos (abajo).

Al sumar el porcentaje de área de cada una de las coberturas Corine Land Cover de acuerdo a cada tipo propuesto en los tres tramos, se halló que entre 70,4 y 88,2 % es antrópico, entre 5,04 y 18 % es mixto y entre 5,41 y 11,25 % es natural (Figs. 4 - 6). Los resultados de la prueba W de Mann-Whitney muestran que las coberturas antrópicas y mixtas no son diferentes (P = 0,15) en cantidad de colisiones a pesar de contar con porcentajes de área tan distantes. Además, los mapas de cada tramo muestran que la mayoría de puntos críticos se ubican sobre estos dos tipos de coberturas. Esto implica que la actividad humana es el factor que está influyendo en el aumento de las colisiones y en la ubicación de los puntos críticos, ya que las coberturas naturales resultaron ser diferentes de las antrópicas (P = 0,03) en cantidad de eventos de atropellamiento, a pesar de contar con un porcentaje de área similar a las mixtas. La influencia de coberturas antrópicas sobre la tasa de colisiones ha sido ampliamente documentada para reptiles, especialmente tortugas, serpientes y saurios, que representan los grupos de fauna más afectados por eventos de colisión (Bernardino y Dalrymple 1992, Findlay y Bourdages 2000, Clevenger *et al.* 2001, Aresco 2006, Huijser *et al.* 2008).

Los reptiles se caracterizan por presentar un amplio espectro de estrategias de historia natural, patrones variados de talla, actividad circadiana, estacional y preferencias de hábitat (Andrews y Gibbons 2005). Estos suelen desplazarse en busca de confort térmico, alimento, refugio o pareja de acuerdo con la disponibilidad de recursos y la época o periodo climático. Así, las especies con mayor cantidad de eventos de colisión como *Chironius* sp, *C. crocodilus*, *I. iguana*, *Leptodeira* sp, *Oxyrhopus* sp y *Tupinambis* sp, presentan plasticidad en su área de acción ("home range") y exhiben permanentes migraciones locales, tanto estacionales como circadianas (Staton y Dixon 1975, Henderson *et al.* 1976, Nickerson *et al.* 1978, Kushlan 1988, Ouboter y Nanhoe 1988, Pinowski 2005, Fachín-Terán *et al.* 2006, Campos *et al.* 2015, Heigl *et al.* 2017). Al respecto, Shine *et al.* (2004), Andrews y Gibbons (2005), Jochimsen *et al.* (2014) y Peaden *et al.* (2017) sugieren que las carreteras modifican varios aspectos del comportamiento de los reptiles ya que estos poseen sistemas sensoriales que se pueden ver afectados por fenómenos como las emisiones de gases, vibraciones, sonidos de escapes, acumulación de calor o brillo en el asfalto y fuertes luces de colores generadas por los automotores, influyendo así en la detección de feromonas de las hembras por parte de los machos, provocando confusión, miedo, inmovilidad, congelación por deslumbramiento y dificultad para seleccionar cuándo, cómo y hacia donde moverse para alejarse de una vibración o para detectar señales térmicas de las presas durante el comportamiento de asecho y cacería.

Las 33 especies registradas durante el estudio están expuestas entonces a un alto flujo vehicular, a conductores que exceden los límites de velocidad, a un alto porcentaje del área afectado por actividades antrópicas y la alteración de sus características de historia natural por factores inherentes a la operación de una carreta que en conjunto, generaron tasas de atropellamiento para los tramos 1, 2 y 3 de 3,32, 0,518, 1,608 colisiones/día y 0,042, 0,019, 0,021 colisiones/km/día, respectivamente. Ya que la propuesta de Coelho *et al.* (2014) considera la longitud de cada tramo en el cálculo de las tasas, esta longitud puede compararse y relacionarse con la cobertura natural, que arrojó la menor cantidad de eventos de colisión en los tres tramos. El Tramo 2, con 27,9 km presenta 6,85 % de coberturas naturales mientras que el Tramo 3, con 75,5 km presenta 11,25 % de cobertura natural y el Tramo 1 con 79,4 km cuenta con 5,41 % de coberturas naturales

(Figs. 4 – 6). En proporción, el porcentaje de cobertura natural de cada tramo es inverso a las tasas de colisión obtenidas. Vargas-Salinas *et al*. (2011) en la vía Buga-Buenaventura, Valle del Cauca, que atraviesa la Reserva Forestal Bosque de Yotoco con 0,047 colisiones/día/km; Quintero-Ángel *et al*. (2012) en la autopista del café, municipio de Finlandia, Quindío con 0,033 colisiones/km/día, Seijas *et al*. (2013) en la carretera Guanare-Guanarito, Portuguesa, Venezuela, que reportan 0,1393±0,088 reptiles/km en 26 días de muestreo, que representan alrededor 0,0053 colisiones/km/día y De La Ossa-V y Galván-Guevara (2015) en la carretera Toluviejo-ciénaga La Caimanera, Sucre con 0,071 colisiones/día/km, presentan, en general, tasas de atropellamiento similares a las encontradas en este estudio.

A pesar de que los métodos y esfuerzo de muestreo fueron distintos, estos estudios reportan la mayor cantidad de eventos de colisión asociados a las coberturas antrópicas propias de las carreteras, como áreas abiertas de uso agropecuario o sabanas antrópicas y tasas evidentemente menores en coberturas naturales como el bosque húmedo tropical

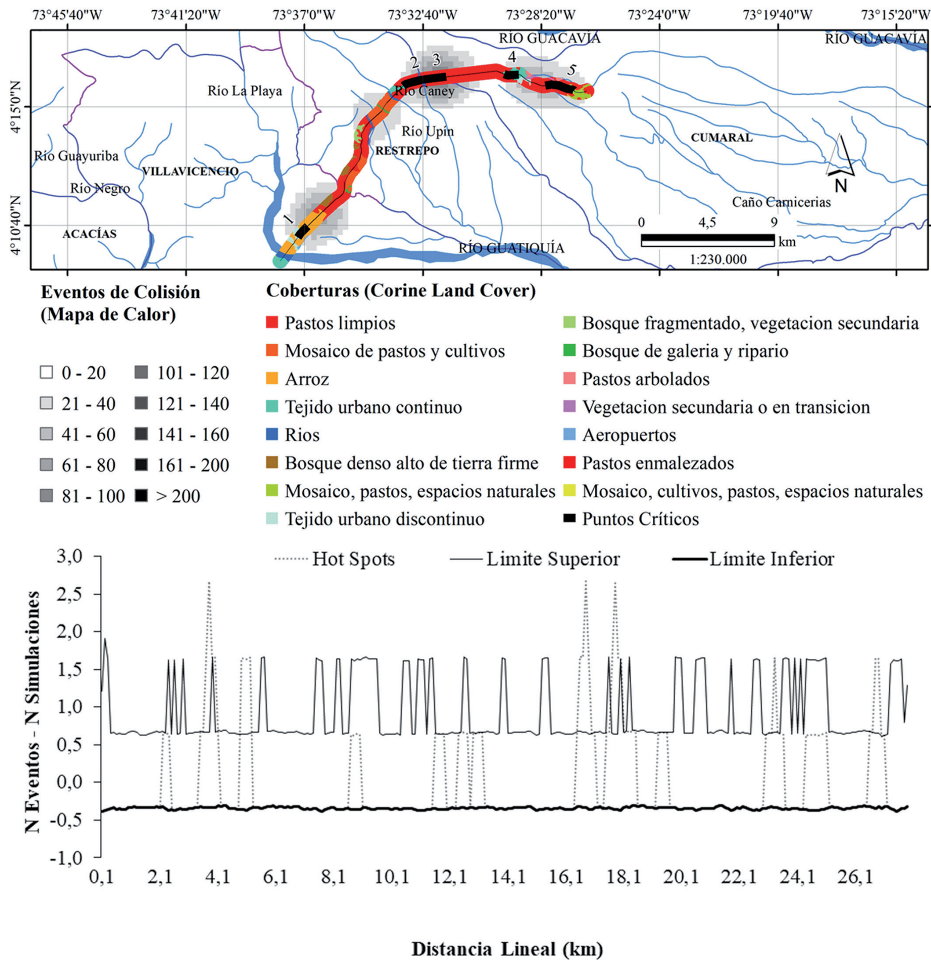


Figura 5. Mapa de calor con coberturas con puntos críticos de colisión en el Tramo 2 señalados con números (arriba) y gráfico de simulación K-Ripley de identificación de estos puntos (abajo).

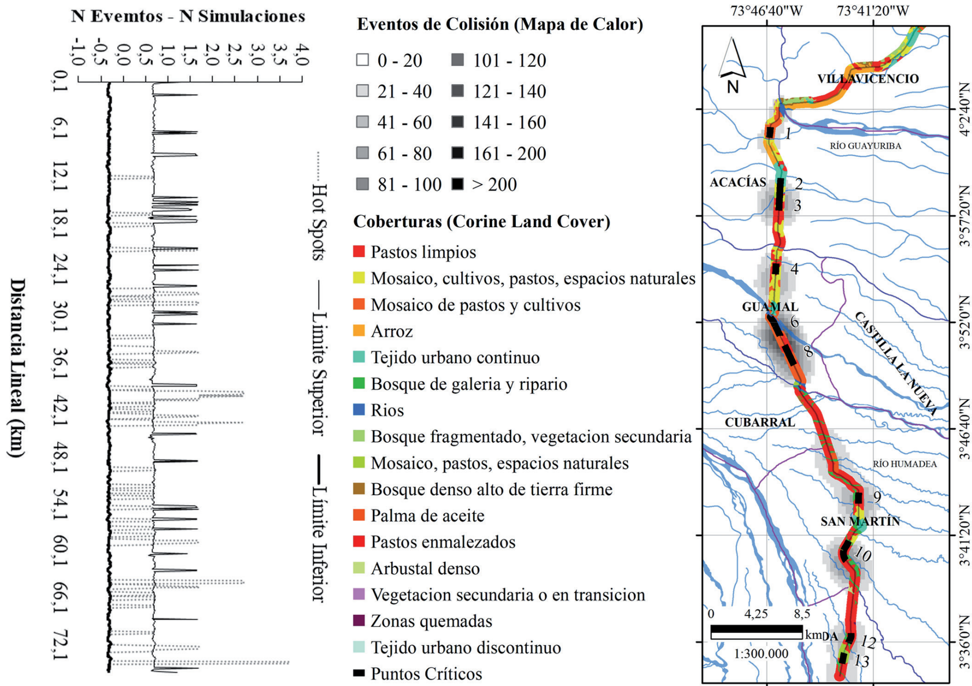


Figura 6. Gráfico de simulación K-Ripley de identificación de puntos críticos de colisión en el tramo 3 (izquierda), y mapa de calor con coberturas con puntos críticos de colisión señalados con números (derecha).

de Yotoco el Valle del Cauca, los Montes de María y los manglares en la costa norte, los remanentes de bosque en los Andes centrales y los bosques de Guanare-Guanarito en Venezuela. Es importante resaltar que dichas investigaciones fueron llevadas a cabo cubriendo el periodo climático completo y el presente estudio solo recolectó información durante el periodo lluvioso. Esto puede haber generado una subestimación en las tasas reales de colisión que, al incluir los tres meses de temporada seca, podrían aumentar debido a que algunas especies de reptiles como serpientes y lagartos realizan migraciones locales diarias en busca de fuentes de agua, presas, sitios de reproducción o desove, mientras que babillas y tortugas anidan y luego permanecen inmóviles en estivación hasta que regresan las lluvias (Staton y Dixon 1975, Henderson *et al*. 1976, Nickerson *et al*. 2014, Andrews y Gibbons 2005, Jochimsen *et al*. 2014, Andrade *et al*. 2016).

Finalmente, y en consecuencia con lo expuesto, Sielecki (2001), Forman *et al*. (2003) y van der Ree *et al*. (2015), recomiendan acciones de prevención y mitigación de colisiones, en su mayoría enfocadas al manejo de factores de origen antrópico en las carreteras. De hecho, sugieren que está comprobado que las estrategias enfocadas a cambiar y mejorar la actitud de las personas y el manejo de sus actividades son mucho más efectivas en la reducción de los eventos de colisión que las encaminadas a manipular el entorno y a cambiar o controlar el comportamiento y las costumbres de los animales.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

JAAR concepción, diseño, análisis de datos y escritura del documento; MCRD toma y análisis de datos, escritura del documento; MTRA toma y análisis de datos; JPG, PREM y CAPS concepción, diseño y análisis de datos.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTOS

A CORMACARENA y la Universidad de Los Llanos por facilitar los recursos económicos y logísticos para la realización del estudio. A la Profesora Elizabeth Aya Baquero, supervisora del convenio por parte de la universidad. A los Profesores José Ariel Rodríguez, Gloria Castro, Karen Rodríguez y a los estudiantes integrantes del Grupo de Estudio BioHerp del Programa de Biología de la Universidad de Los Llanos.

LITERATURA CITADA

Andrade DV, Bevier CR, Carvalho JE, editores. 2016. Amphibian and reptile adaptations to the environment: Interplay between physiology and behavior. Boca Raton, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group.

Andrews KM, Gibbons JW. 2005. How do Highways Influence Snake Movement? Behavioral Responses to Roads and Vehicles. Copeia 2005(4):772–782. doi: 10.1643/0045-8511(2005)005[0772:HDHISM]2.0.CO;2.

Ángel R. 1957. Serpientes de Colombia. Guía práctica para su clasificación y tratamiento del envenenamiento causado por sus mordeduras. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Cartón de Colombia y Fondo Ganadero de Antioquia.

Aresco MJ. 2006. Highway mortality of turtles and other herpetofauna at Lake Jackson, Florida, USA and the efficacy of a temporary fence/culvert system to reduce roadkills. Proceedings of the 2005 ICOET: 351–365.

Autollanos. Autopistas de Los Llanos. c2014. Consolidado tráfico mensual por estación. [Revisada en: 15 Abr 2016]. http://www.turismometa.gov.co

Ávila-P T. 1995. Lizards of Brazilian Amazonia. Zool. Verh. Leiden 299: 1-706

Bernardino JrFS, Dalrymple GH. 1992. Seasonal activity and road mortality of the snakes of the Pa-hay-okee wetlands of Everglades National Park, USA. Biol. Conserv. 62(2):71–75. doi: 10.1016/0006-3207(92)90928-G.

Campos Z, Mourão G, Coutinho M, Magnusson WE, Soriano BMA. 2015. Spatial and temporal variation in reproduction of a generalist crocodilian, *Caiman crocodilus yacare*, in a seasonally flooded wetland. PLoS ONE 10:1–14. doi: 10.1371/journal.pone.0129368.

Clevenger AP, Chruszcz B, Gunson K. 2001. Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. J. Appl. Ecol. 38(6):1340–1349. doi: 10.1046/j.0021-8901.2001.00678.x.

Coelho AVP, Coelho IP, Kindel A, Teixeira FZ. 2014. Siriema: road mortality software. User's Manual V. 2.0. Porto Alegre, Brazil: NERF, UFRGS.

Coffin AW. 2007. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. J. Transp. Geogr. 15:396–406. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006.

Collinson WJ, Parker DM, Bernard RTF, Reilly BK, Davies-Mostert HT. 2014. Wildlife road traffic accidents: A standardized protocol for counting flattened fauna. Ecol. Evol. 4(15):3060–3071. doi: 10.1002/ece3.1097.

Colwell R. c2009. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.2. Diversity 1–23. [Revisada en: 18 May 2017] http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/

De La Ossa-V J, Galván-Guevara S. 2015. Registro de mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Toluviejo – ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia. Biota Colomb. 16(1):68-76.

Espinal L. 1990. Zonas de vida de Colombia. Medellín. Antioquia, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias de la Tierra.

Fachín-Terán A, Vogt RC, Thorbjarnarson JB. 2006. Seasonal movements of *Podocnemis sextuberculata* (Testudines: Podocnemidae) in the Mamiraua Sustainable Development Reserve, Amazonas, Brazil. Chelonian Conserv. Biol. 5(1):18–24. doi: 10.2744/1071-8443(2006)5[18:SMOPST]2.0.CO;2.

Findlay CS, Bourdages J. 2000. Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. Conserv. Biol. 14(1):86–94. doi: 10.1046/j.1523-1739.2000.99086.x.

Forman-T RT, Sperling D, Bissonette JA, editores. 2003. Road ecology: science and solutions. Washington: Island Press.

Heigl F, Horvath K, Laaha G, Zaller JG. 2017. Amphibian and reptile road-kills on tertiary roads in relation to landscape structure: Using a citizen science approach with open-access land cover data. BMC Ecol. 17:1–11. doi: 10.1186/s12898-017-0134-z.

Henderson RW, Nickerson MA, Ketcham S. 1976. Short Term Movements of the Snakes *Chironius carinatus*, *Helicops angulatus* and *Bothrops atrox* in Amazonian Peru. Herpetologica 32:304–310.

Huijser MP, McGowen P, Fuller J, Hardy A, Kociolek A, Clevenger Ap, Smith D, Ament R. 2008. Wildlife-Vehicle collision reduction study. Report to congress. Montana, USA.: Department of Transportation, Federal Highway Administration.

[IDEAM]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. c2010. Mapa de cobertura de la tierra, período 2010 – 2012. [Revisada en: 24 Jul 2017]. http://www.siac.gov.co/fi/catalogo-de-mapas

[IDEAM]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. c2017. Atlas climatológico de colombia 1981 – 2010. [Revisada en: 15 Mar 2017]. http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html

[IGAC]. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. c2008. Hidrografía de Colombia. Ríos y drenajes. [Revisada en: 13 Feb 2017]. http://www.igac.gov.co/igac

[IGAC]. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. c2011. Mapa Político de Colombia. Fronteras, límites, departamentos y municipios. [Revisada en: 13 Feb 2017]. http://www.igac.gov.co/igac

Inbar M, Mayer RT. 1999. Spatio-Temporal trends in armadillo diurnal activity and road-kills in central Florida. Wildlife Society Bulletin 27(3):865–872.

[INVIAS]. Instituto Nacional de Vías. c2016. Red vial nacional. Instituto Nacional de Vías. [Revisada en: 18 Mar 2017]. https://www.invias.gov.co/index.php/red-vial-nacional

Jochimsen DM, Peterson CR, Harmon LJ. 2014. Influence of ecology and landscape on snake road mortality in a sagebrush-steppe ecosystem. Anim. Conserv. 17:583–592. doi: 10.1111/acv.12125.

Joyce TL, Mahoney SP. 2001. Spatial and temporal distributions of moose-vehicle collisions in Newfoundland. Wildlife Society Bulletin 29(1):281–291.

Kushlan JA. 1988. Conservation and management of the american crocodile. Environ. Manage. 12:777–790. doi: 10.1007/BF01867604.

Lynch JD. 2012. El contexto de las serpientes de Colombia con un análisis de las amenazas en contra de su conservación. Rev. Acad. Colomb. Cienc XXXVI: 435–449.

Magurran AE. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton: Princeton University Press.

Magurran AE. 2004. Measuring of biological diversity. Oxford: Blackwell science.

Nickerson MA, Sajdak RA, Henderson RW. 1978. Notes on the movements of some neotropical snakes (Reptilia, Serpentes). J. Herp. 12(3):419–422

Noah M c2003. Bray-Curtis index of similarity ANSI C function. Washington (Estados Unidos). [Revisada en: 18 Mar 2017] http://www.physaliaos.com/braycurtis.htm

Ouboter PE, Nanhoe LMR. 1988. Habitat selection and migration of *Caiman crocodilus* in a swamp and swamp-forest habitat in northern Suriname. J. Herpetol. 22(3):283–294.

Peaden J, Nowakowski A, Tuberville T, Buhlmann K, Todd B. 2017. Effects of roads and roadside fencing on movements, space use, and carapace temperatures of a threatened tortoise. Biol. Conserv. 214:13–22.

Pérez-S C, Moreno A. 1988. Monographie VI. Ofidios de Colombia. Torino, Italia: Museo Regionale di Scienze Naturali.

Peters J, Donoso-Barros R. 1970. Catalogue of the Neotropical squamata part II. Lizards and Amphisbaenians. United States National Museum Bulletin 297, vol. 2. Washington: Smithsonian Institution Press.

Peters J, Orejas-Miranda B. 1970. Catalogue of the Neotropical squamata. Part I. Snakes. United Sates National Museum Bulletin 297, vol. 1. Washington: Smithsonian Institution Press.

Pinowski J. 2005. Roadkills of vertebrates in Venezuela. Rev. Bras. de Zool. 22:191–196. doi: 10.1590/S0101-81752005000100023.

Quintero-Ángel A, Osorio-Domínguez D, Vargas-Salinas F, Saavedra-Rodríguez C. 2012. Serpientes muertas en carreteras en un paisaje alterado de los andes centrales de Colombia. Herpetology Notes 5:99–105.

Rueda-Almonacid JV, Carr JL, Mittermeier RA, Rodriguez-Maecha JV, Mast RB, Vogt RC, Rhodin AGJ, De La Ossa-Velásquez J, Rueda JN, Goettsch-M C. 2007. Las tortugas y los cocodrilianos de los países andinos del trópico. Serie de guías tropicales de campo N° 6. Bogotá, Colombia: Conservación Internacional, Andes CBC.

Santos SM, Carvalho F, Mira A. 2011. How long do the dead survive on the road? Carcass persistence probability and implications for road-kill monitoring surveys. PLoS ONE 6(3):1–12. doi: 10.1371/journal.pone.0025383.

Seijas AE, Araujo-Quintero A, Velásques N. 2013. Mortalidad de vertebrados en la carretera Guanare-Guanarito, estado Portuguesa, Venezuela. Rev. Biol. Trop. 61(4):1619–1636.

Shine R, Lemaster M, Wall M, Langkilde T, Mason R. 2004. Why did the snake cross the road? Effects of roads on movement and location of mates by garter snakes (*Thamnophis sirtalis parietalis*). Ecol. Soc. 9(1):15–26.

Sielecki LE. 2001. WARS 2000, Wildlife accident reporting system. Victoria, Canada. B.C. Ministry of Transportation.

[SIMIT]. Sistema Integrado de Información Sobre Multas y Sanciones 2015. Transitemos 2015. Bogotá: Federación colombiana de municipios – Dirección nacional SIMIT.

Staton MA, Dixon JR. 1975. Studies on the dry season biology of *Caiman crocodilus* from the Venezuelan llanos. Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle 35:237–265.

Teixeira FZ, Coelho AVP, Esperandio IB, Kindel A. 2013. Vertebrate road mortality estimates: Effects of sampling methods and carcass removal. Biol. Conserv. 157:317–323. doi: 10.1016/j.biocon.2012.09.006.

Trujillo-P A, Carvajal-C JE, Rangel-Ch JO. 2014. Reptiles de la Orinoquia colombiana. En: Rangel J, editor. Colombia – Diversidad biótica XIV. La región de la Orinoquia colombiana. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. p. 635–644.

van der Ree R, Smith DJ, Grilo C, editores. 2015. Handbook of road ecology. Oxford: Wiley Blackwell Press.

Vargas-Salinas F, Delgado-Ospina I, López-Aranda F. 2011. Mortalidad por atropello vehicular y distribución de anfibios y reptiles en un bosque subandino en el occidente de Colombia. Caldasia 33(1):121–138.

Recibido: 19/09/2017
Aceptado: 03/09/2018